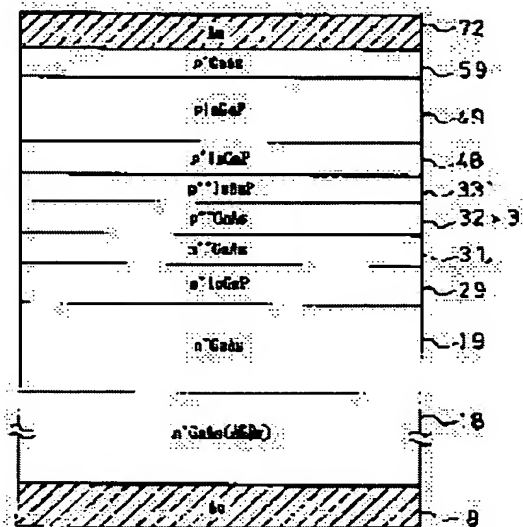


(11)Publication number : 08-162649
(43)Date of publication of application : 21.06.1996

H01L 29/88
H01L 29/205
H01L 21/331
H01L 29/73
H01L 31/04

(71)Applicant : JAPAN ENERGY CORP
(72)Inventor : IKEDA EIJI

CONSTITUTION: A semiconductor device has a tunnel junction layer 3 composed of a first compound semiconductor layer 31 of a first conductivity type, a second compound semiconductor layer 32 of a second conductivity type formed on the upper part of the first compound semiconductor layer 31, and a third compound semiconductor layer 33 of the second conductivity type formed on the upper part of the second compound semiconductor layer 32 and having a larger band gap E_g than that of the second compound semiconductor layer 32. The impurity concentration of the third compound semiconductor layer 33 is set to 0.8×10^{19} to $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$.



[Date of request for examination]
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-162649

(43) 公開日 平成 8 年 (1996) 6 月 21 日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 29/88
29/205
21/331

H 0 1 L 29/ 88

S

29/ 205

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-302291

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 12 月 6 日

(71) 出願人 000231109

株式会社ジャパンエナジー

東京都港区虎ノ門二丁目10番1号

(72) 発明者 池田 英治

埼玉県戸田市新曽南三丁目17番35号 株式

会社ジャパンエナジー内

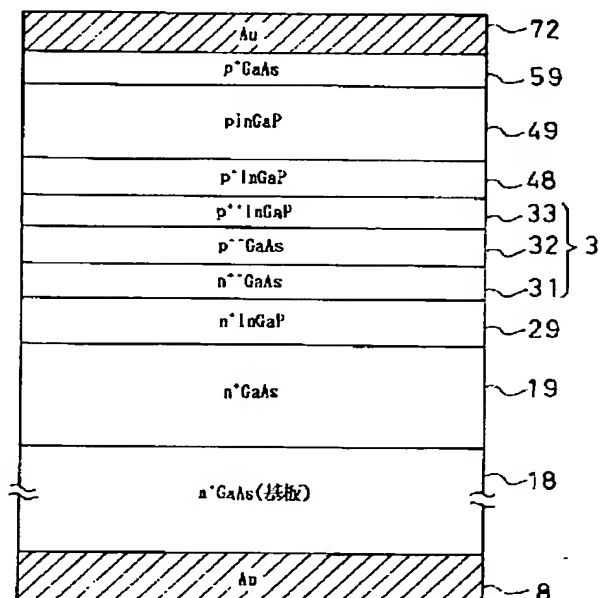
(74) 代理人 弁理士 三好 秀和 (外 8 名)

(54) 【発明の名称】 トンネル接合層を有する半導体装置

(57) 【要約】

【目的】 ピーク電流値の大きなトンネル接合を有した半導体装置を得る。

【構成】 第1導電型の第1の化合物半導体層31、この第1の化合物半導体層31の上部に形成された第2導電型の第2の化合物半導体層32、この第2の化合物半導体層32の上部に形成された、第2導電型で、第2の化合物半導体層32よりも禁制帯幅E_gの大きい第3の化合物半導体層33からなるトンネル接合層3を有する半導体装置であって、第3の化合物半導体層33の不純物密度を $0.8 \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型の第1の化合物半導体層と、
 該第1の化合物半導体層の上部に形成された第2導電型
 の第2の化合物半導体層と、
 該第2の化合物半導体層の上部に形成された、第2導電
 型で、該第2の化合物半導体層よりも禁制帯幅の大きな
 第3の化合物半導体層からなるヘテロ接合層をその一部
 に有し、
 該第2の化合物半導体層は該第1の化合物半導体層との
 間で形成されるトンネル接合による空乏層でほぼ完全に
 空乏化し、
 該第3の化合物半導体層の不純物密度が、該第2の化合
 物半導体層の不純物密度の0.8倍以上であることを特
 徴とするトンネル接合層を有する半導体装置。

【請求項2】 前記第1、および第2の化合物半導体層
 はGaAsで、前記第3の化合物半導体層はInGaAs、G
 a、Pであることを特徴とする請求項1記載のトンネル
 接合層を有する半導体装置。

【請求項3】 前記第2および第3の化合物半導体層の
 ドーパントが亜鉛(Zn)であり、前記第3の化合物半
 導体層の不純物密度が $0.8 \sim 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ で
 あることを特徴とする請求項1記載のトンネル接合層を
 有する半導体装置。

【請求項4】 前記第1の化合物半導体層の下部に第1
 の導電型で、前記第1の化合物半導体層よりも禁制帯幅
 の大きな第4の化合物半導体層を形成したことを特徴と
 する請求項1記載のトンネル接合層を有する半導体装
 置。

【請求項5】 前記ヘテロ接合層によりトップセルとボ
 トムセルとを直列接続したタンデムセル型太陽電池であ
 ることを特徴とする請求項1記載のトンネル接合層を有
 する半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は化合物半導体トンネル接
 合層を有した半導体装置に関し、特に複雑な積層構造を
 有する化合物半導体装置の一部にトンネル接合構造を有
 する半導体装置が容易に製造できる新規な構造およびそ
 の最適化に関する。

【0002】

【従来の技術】人類の直面しているエネルギー問題、炭
 酸ガス(CO₂)の放出の問題を考えると太陽電池が重
 要な役割を担うものと期待されるが、中でも化合物半導
 体太陽電池はその高変換効率性から注目されている。さ
 らにInGaP/GaAs太陽電池は耐放射線特性を有
 し、宇宙用途への適用も期待されている。太陽電池をさ
 らに高変換効率とするために、太陽電池を2ケ～3ケ直
 列に接続した、いわゆるタンデムセル型太陽電池の構造
 が採用されている。このようなタンデムセル型太陽電池
 の上部セル(トップセル)と下部セル(ボトムセル)を

2

電氣的に接合するためには図5に示すようなGaAsト
 ンネル接合層3が用いられている。

【0003】図5において下部セル(ボトムセル)とし
 てGaAsセル2が用いられ、上部セル(トップセル)
 としては、InGaAsPセル4が用いられてい
 る。さらに、この下部セルと上部セルとを電氣的に直列
 接続するために両者の間にGaAsトンネル接合層3が
 設けられている。GaAsボトムセル2はZnドープの
 p⁺GaAs基板11($p < 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)の上部
 に形成されている。そして、GaAsボトムセル2はp⁺
 GaAs基板11の上に形成された厚み3.5μm、
 不純物密度 $1 \sim 4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のpGaAsベース層
 22、その上部に設けられた厚み0.1μm、不純物密
 度 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn⁺GaAsエミッタ層2
 3、さらにその上部の厚み0.2μm、不純物密度 $1 \times$
 10^{18} cm^{-3} のn⁺AlGaAs窓層29とから構成さ
 れている。エミッタ層23とベース層22の間にpn接
 合が形成されている。GaAsトンネル接合層3は下部
 セル(GaAsボトムセル)2の最上層であるn⁺Al
 GaAs窓層29の上部に形成された厚み20nm、不
 純物密度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のn⁺⁺GaAs層31と、厚
 み20nm、不純物密度 1.0×10^{19} のp⁺⁺GaAs
 層32とから構成されている。そしてこの上部には厚み
 0.8μm、不純物密度 $1 \sim 4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のpIn
 GaAsPベース層42；厚み0.1μm、不純物
 密度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn⁺InGaAsPエミッ
 タ層43；および厚み40nm、不純物密度 1×10^{18}
 cm^{-3} のn⁺AlInP窓層44がこの順に堆積された
 InGaAsPトップセル4が形成されている。

【0004】トンネル接合層3を形成しているGaAs
 p⁺⁺/n⁺⁺接合は、ここにおける光吸収を最小限に抑
 え、下部セル2への光の透過をより多くするため、ほぼ
 完全に空乏層が広がる程度(20nm)の薄い厚みに設
 定されている。GaAsトンネル接合層3の上部のpIn
 GaPベース層42のドーピングは $1 \sim 2 \times 10^{17} \text{ c}$
 m^{-3} 程度でp⁺⁺GaAs層32に比して不純物密度が低
 い。他の従来の技術としては、図5におけるpInGa
 Pベース層42とp⁺⁺GaAs層32の間に厚さ0.1
 $\sim 0.3 \mu\text{m}$ 程度のp⁺InGaP裏面電界層(以下B
 SF層という)を形成して、少数キャリアに対する電位
 障壁を形成し、裏面再結合損失を防止する方法も知られ
 ているが、この場合もBSF層の不純物密度は 4×10^{17}
 cm^{-3} 程度であり、p⁺⁺GaAs層32に比して低
 い。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】図5におけるp⁺⁺Ga
 As層32、pInGaP層42、あるいは図示は省略
 したp⁺InGaP-BSF層のドーパントは通常は亜
 鉛が用いられる。図5のような構造は、通常MOCVD
 法等を用いて基板温度700℃付近で気相エピタキシャ

ル成長を行うが、このような基板温度（成長温度）では、トンネル接合層3の上の上部セルの各層を成長している間に亜鉛が拡散し、 p'' GaAs層32の不純物密度が低下し、その結果トンネルダイオードのピーク電流 I_p が低下してしまい、図5の構造ではピーク電流密度 $J_p = 40 \text{ mA/cm}^2$ 程度しか得られないという欠点があった。

【0006】以上、タンデムセル型太陽電池を一例として説明したが、トンネル接合層を形成する化合物半導体中のZn等の不純物の拡散の問題は太陽電池に限らず、トンネル注入を用いたトランジスタや集積回路等の半導体装置においても同様な問題が生じていた。

【0007】本発明は、以上の点を鑑みてなされたもので、トンネル接合層を構成する各層の不純物密度が高く維持でき、トンネルダイオードのピーク電流 I_p が増大できるトンネル接合層を有する半導体装置の新規な構造を提供することである。

【0008】本発明の他の目的は700℃程度の高温の熱加工においてもトンネル接合層の不純物密度プロファイルが設計値に維持可能となるようなトンネル接合層を有する半導体装置を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は図1に示すように第1導電型の第1の化合物半導体層31と、この第1の化合物半導体層31の上部に形成された第2導電型の第2の化合物半導体層32と、この第2の化合物半導体層32の上部に形成された、第2導電型で、第2の化合物半導体層32よりも禁制帯幅（ E_g ）の大きな第3の化合物半導体層33からなるヘテロ・トンネル接合層3をその一部に有しており、第2の化合物半導体層32は第1の化合物半導体層31との間で形成されるpn接合による空乏層でほぼ完全に空乏化し、第3の化合物半導体層33の不純物密度が、第2の化合物半導体層32の不純物密度の0.8倍以上であることを特徴とする。第1導電型はたとえば図1に示すようにn型で、第2導電型は第1導電型とは反対導電型のp型である。図1においてp型とn型を変換してもよい。このヘテロ・トンネル接合層が、たとえば図3に示すようなタンデム構成の太陽電池や図4に示すトンネル注入HBTの一部に含まれている半導体装置であることを特徴とする。

【0010】好ましくは、第2の化合物半導体層32はGaAsで、第3の化合物半導体層33は $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ である。第3の化合物半導体層33はGaAsと格子整合するGaAsよりも禁制帯幅 E_g の大きな化合物半導体であればよく、 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ 以外にも $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ でもよい。

【0011】好ましくは、第2および第3の化合物半導体層のドーパントが亜鉛（Zn）であり、前記第3の化合物半導体層33の不純物密度が $0.8 \sim 1.0 \times 10$

$^{19} \text{ cm}^{-3}$ であることである。

【0012】また、好ましくは図1、図3、図4に示すように第1の化合物半導体層の下部に第1導電型で、前記第1の化合物半導体層よりも禁制帯幅（ E_g ）の大きな $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{P}$ や $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ 等の第4の化合物半導体層29、24、99を形成している。

【0013】

【作用】本発明の特徴によれば、従来は第1および第2の化合物半導体層31、32のみで構成されていたトンネル接合層3の上に、さらに禁制帯幅 E_g が大きく、高不純物密度の第3の化合物半導体層が形成されているので、たとえば、第2の化合物半導体層32の不純物（ドーパント）が亜鉛（Zn）のように拡散速度の大きな物質であっても、気相成長中にZnが他の領域（層）へ拡散して、トンネル接合層3の不純物密度が低下することがなくなる。すなわち、通常GaAs系のMOCVDでは700℃前後の基板温度で連続エピタキシャル成長を行い多層構造を形成するが、このような温度ではZn等の拡散速度の大きな不純物は、その上に形成する他のエピタキシャル成長膜の形成時に拡散してしまい問題であったが、本発明の特徴を構成する第3の化合物半導体層33の存在により、この拡散が防止できることとなる。

【0014】その結果、トンネル接合に必要な急峻かつ、高不純物密度の不純物プロファイルが実現でき、トンネルダイオードのピーク電流 I_p も向上する。

【0015】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。図5と重複する部分には同一の符号を用いている。図1は本発明の第1の実施例に係るトンネルダイオードの断面構造を示す。

【0016】図1において、Siドーパの不純物密度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の n' GaAs基板18の上に、厚さ $0.3 \mu\text{m}$ 、不純物密度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の n' GaAs層19、および厚み $0.1 \mu\text{m}$ 、不純物密度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のInGaP擬窓層29が形成され、その上に厚み 10 nm 、不純物密度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の n'' GaAs層31、厚み 10 nm 、不純物密度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の p'' GaAs層32、厚み $0.1 \mu\text{m}$ 、不純物密度 $0.8 \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の p'' $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ 層33からなるトンネル接合層3が形成され、さらにその上に厚み $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 、不純物密度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の p' $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ 擬BSF層48、厚み $0.7 \mu\text{m}$ 、不純物密度 $1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の p $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ 擬ベース層49、および厚み $0.3 \mu\text{m}$ 、不純物密度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の p' GaAsコンタクト層59が形成されている。 p' GaAsコンタクト層59の表面には厚さ $1 \mu\text{m}$ 程度のAuメッキ層72が上部金属電極層として形成され、 n' GaAs基板18の裏面には、厚さ $1 \mu\text{m}$ 程度のAuメッキ層が下部金属電極層8として形成されている。なお、トンネル接合層

7

その上のAu層72からなる上部金属電極層（表面電極層）7が形成されている。p⁺GaAs基板11の裏面には下部金属電極層（裏面電極層）8としてAu層が形成されている。In_{0.5}Ga_{0.5}Pトップセル4のn⁺AlInP窓層44の表面のn⁺GaAs層51およびその上の上部金属電極層7が形成されている部分以外の領域には、図示を省略しているが、通常はZnS層61、MgF₂層62からなる反射防止膜6が形成されている。このような構造より、トンネル接合層3のピーク電流密度は $J_p = 200 \text{ mA/cm}^2$ と極めて大きな値となり、タンデムセルとしての短絡光電流 I_{sc} も大きくなり、したがって変換効率も極めて大きく、曲線因子（fill factor: FF）も大きくなる。

【0021】図4は本発明の第3の実施例に係るトンネル注入型ヘテロ接合バイポーラトランジスタ（HBT）の断面図である。半絶縁性GaAs基板97の上に順次、厚み0.3μm、不純物密度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn⁺In_{0.5}Ga_{0.5}Pコレクタコンタクト層98、厚み0.1μm、不純物密度 $1 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ のp⁻In_{0.5}Ga_{0.5}Pドリフト層99、厚み10nm、不純物密度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn⁺⁺GaAs層31、厚み10nm、不純物密度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のp⁺⁺GaAs層32、厚み0.1μm、不純物密度 $0.8 \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のp⁺⁺InGaP層33、厚み0.3μm、不純物密度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のp⁺GaAsコンタクト層59が形成されている。ドリフト層99はn⁻In_{0.5}Ga_{0.5}P層又はiIn_{0.5}Ga_{0.5}P層でもよく、ほぼ完全にドリフト層99が空乏化するような不純物密度に選定しておけばよい。n⁺⁺GaAs層31、p⁺⁺InGaP層33でトンネル接合層3が形成されることとなるが、n⁺⁺GaAs層31がこのHBTの実際のエミッタ領域となり、n⁺⁺GaAs層31の直下のp⁻In_{0.5}Ga_{0.5}Pドリフト層99の上部がHBTの仮想ベース領域となる。p⁺GaAsコンタクト層59の表面からp⁻In_{0.5}Ga_{0.5}Pドリフト層99に達するU溝が形成され、その表面に厚み50nmのAlGaAs層101が形成され、さらにそのAlGaAs層101にはほぼ内包されるようにPt/Ti/Pt/Au層からなるベース金属電極82が形成されている。エミッタ金属電極81としてTi/Pt/Au層がp⁺GaAsコンタクト層59の上に形成されている。また、コレクタ金属電極83としてAuGe/Ni/Ti/Au層が表面からn⁺In_{0.5}Ga_{0.5}Pコレクタコンタクト層98まで達するU溝の底部において、n⁺In_{0.5}Ga_{0.5}Pコレクタコンタクト層98に接してその上部に形成されている。図4の構造においてトンネル接合層3の電界強度をベース金属電極82に印加する電圧で制御し、n⁺⁺GaAs層31をHBTの仮想エミッタ領域として、p⁻InGaPドリフト層99の上部の仮想ベース領域に電子が注入される。注入された電子はp⁻I

8

nGaPドリフト層中の高電界によりドリフト走行し、n⁺In_{0.5}Ga_{0.5}Pコレクタコンタクト層98に到達する。なおベース金属電極82とエミッタ金属電極81との間にはポリイミド、あるいはSiO₂/Si₃N₄等の層間絶縁膜が形成されている。なお、図4のトンネル注入型HBTを集積化するためには、プロトンイオン注入で素子分離領域103を形成すればよい。本発明の第3の実施例によれば、トンネル接合層3のピーク電流が大きいので、変換コンダクタンス g_m が大きく、サブミリ波帯での増幅、発振が高効率で可能となる。又、InGaPは耐放射線特性に優れているので、人工衛星搭載に適し、衛星通信用の増幅、発振素子や論理回路等に用いることができる。図4は例示であり、さらに共鳴トンネルトランジスタ等他の半導体素子にも本発明の構造は適用できることはもちろんである。

【0022】

【発明の効果】本発明によれば、本来トンネル接合に必要な第1および第2の化合物半導体層の上部にさらに高不純物密度の第3の化合物半導体領域が形成されているので、気相成長等、半導体装置の製造工程に必須な各種高温工程を経ても、トンネル接合部の不純物密度は初期に設計した高い値に維持できる。したがって、このトンネル接合部の呈するI-V特性は良好となり、I-V特性に示されるピーク電流も従来技術の5倍以上の大きな値となった。したがって高効率のタンデム構造太陽電池や、高速トンネル注入HBT等、各種のトンネル接合部を有する半導体装置が容易に製造でき、信頼性も高くなる。

【0023】本発明によれば、700℃といった高温プロセス中でも、亜鉛（Zn）のような拡散速度の大きい不純物元素の拡散がおさえられるので、半導体装置製造のプロセス設計が容易となり、生産性も向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係るトンネルダイオードの断面図である。

【図2】本発明の第1の実施例に係るトンネルダイオードの順方向I-V特性を示す図である。

【図3】本発明の第2の実施例に係るタンデムセル型太陽電池の断面図である。

【図4】本発明の第3の実施例に係るトンネル注入型HBTの断面図である。

【図5】従来技術におけるトンネルダイオードの断面図である。

【符号の説明】

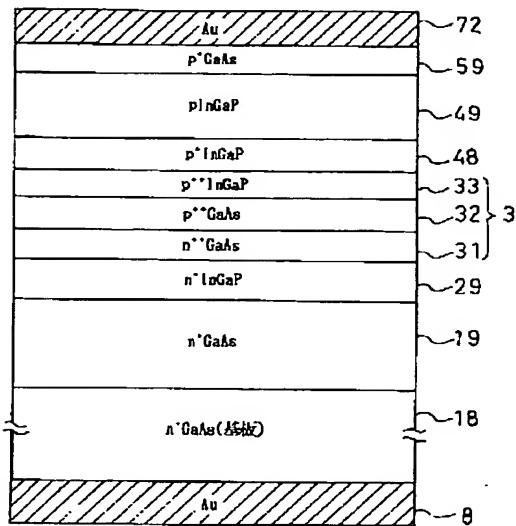
- 2 GaAs ボトムセル（下部セル）
- 3 GaAs トンネル接合層
- 4 In_{0.5}Ga_{0.5}P トップセル（上部セル）
- 7 上部金属電極層（表面電極層）
- 8 下部金属電極層（裏面電極層）
- 11 p⁺GaAs 基板

(6)

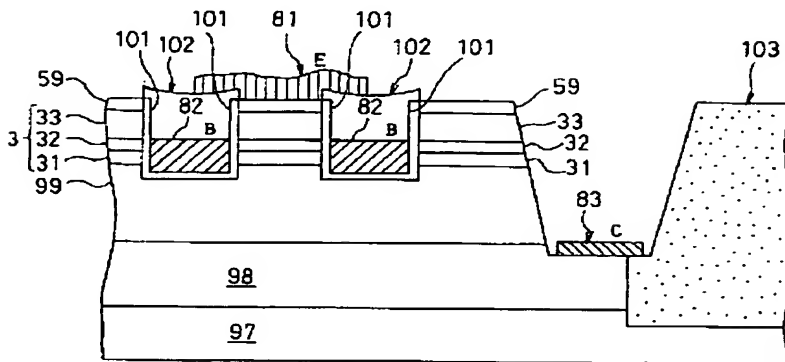
特開平8-162649

9
 12 p⁺ GaAs バッファ層
 18 n⁺ GaAs 基板
 19 n⁺ GaAs 層
 21 p⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P BSF層
 22 p GaAs ベース層
 23 n⁺ GaAs エミッタ層
 24 n⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P 窓層
 29 n⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P 擬窓層
 31 n⁺ GaAs 層
 32 p⁺ GaAs 層
 33 p⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P 層
 41 p⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P-BSF層
 42 p In_{0.5} Ga_{0.5} P ベース層
 43 n⁺ InGaP エミッタ層
 44 n⁺ AlInP 窓層

【図1】



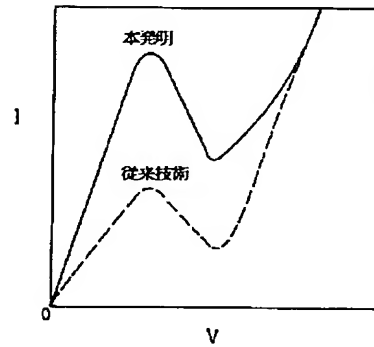
【図4】



10

* 48 p⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P 擬BSF層
 49 p In_{0.5} Ga_{0.5} P 擬ベース層
 51 n⁺ GaAs 層
 59 p⁺ GaAs コンタクト層
 71 Au-Ge/Ni/Au 膜
 72 Au メッキ膜
 81 エミッタ金属電極
 82 ベース金属電極
 83 コレクタ金属電極
 10 97 半絶縁性GaAs 基板
 98 n⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P コレクタコンタクト層
 99 p⁺ In_{0.5} Ga_{0.5} P ドリフト層
 101 AlGaAs 層
 102 層間絶縁膜
 * 103 素子分離領域

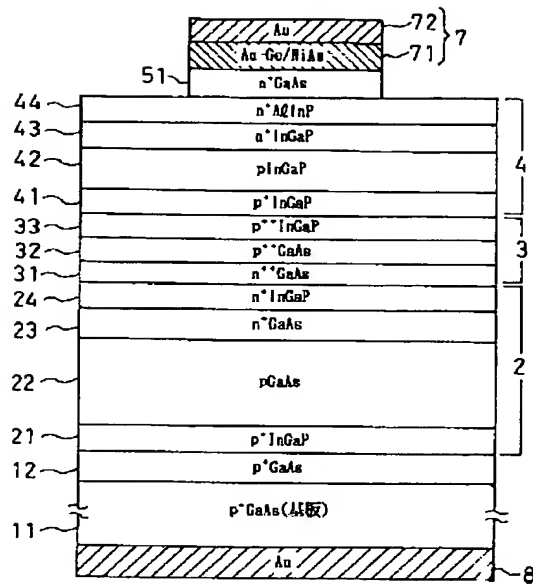
【図2】



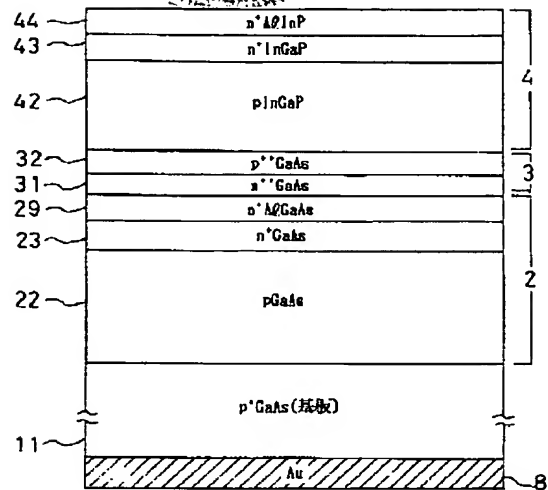
(7)

特開平8-162649

【図3】



【図5】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

H01L 29/73

31/04

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H01L 29/72

31/04

E

Y